

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Mai 2004 (06.05.2004)

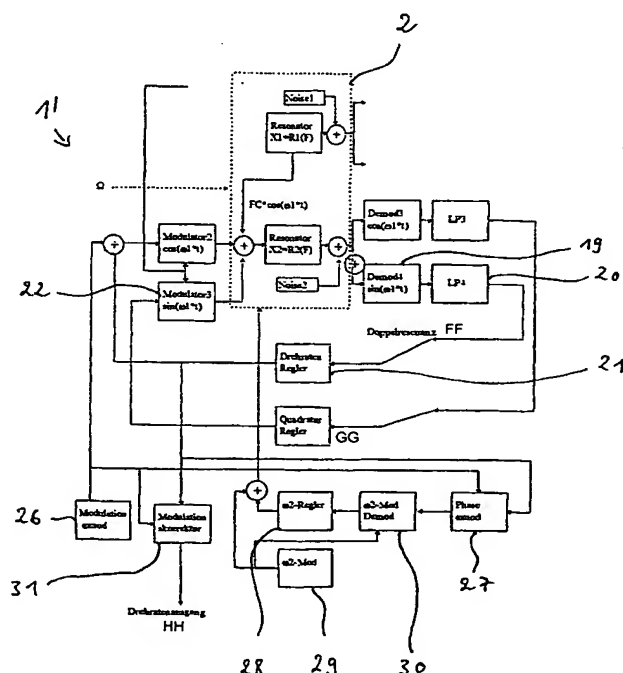
PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/038334 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01C 19/56
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/011142
- (22) Internationales Anmeldedatum:
8. Oktober 2003 (08.10.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 48 734.0 18. Oktober 2002 (18.10.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): LITEF GMBH [DE/DE]; Lörracher Str. 18, 79115 Freiburg (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHRÖDER, Werner [DE/DE]; Büssagestrasse 14, 77955 Ettenheim (DE).
- (74) Anwalt: MÜLLER, Frithjof, E.; Müller . Hoffmann & Partner, Innere Wiener Strasse 17, 81667 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): CA, CZ, JP, PL, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR ELECTRONICALLY ADJUSTING THE SELECTIVE OSCILLATION FREQUENCY OF A CORIOLIS GYRO

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ELEKTRONISCHEN ABSTIMMUNG DER AUSLESESCHWINGUNGSFREQUENZ EINES CORIOLISKREISELS



FF...DOUBLE RESONANCE
GG...QUADRATURE CONTROLLER
HH...ROTATIONAL SPEED OUTLET
21...ROTATIONAL SPEED CONTROLLER
31...MODULATION CORRECTION
28...ω2 CONTROLLER

(57) Abstract: The invention relates to a method for electronically determining the frequency of the selective oscillation on the frequency of the excitation oscillation in a coriolis gyro(1'). According to the invention, the resonator (2) of the coriolis gyro (1') is impinged upon by an interfering force such that the excitation oscillation remains essentially the same. The selective oscillation is altered in such a manner that a selective signal representing the selective oscillation contains a corresponding interference part. The frequency of the selective oscillation is regulated in such a manner that phase displacement between the interference signal and the interference part contained in the selective signal is minimal.

(57) Zusammenfassung: Beim Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreis (1') gemäss der Erfindung wird der Resonator (2) des Corioliskreis (1') mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, wobei die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird so geregelt, dass die Phasenverschiebung zwischen dem Störsignal und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil minimal wird.

1 **Verfahren zur elektronischen Abstimmung der**
 Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Fre-
5 quenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung
 bei einem Corioliskreisel.

Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem
Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf,
10 das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung ist in der Regel eine
Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen. Diese Einzelschwin-
gungen des Massensystems sind zunächst voneinander unabhängig und las-
sen sich jeweils abstrakt als "Resonatoren" auffassen. Zum Betrieb eines Vi-
brationskreisels sind wenigstens zwei Resonatoren erforderlich: einer dieser
15 Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu Schwingungen angeregt,
die im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Der andere
Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu Schwingungen angeregt,
wenn der Vibrationskreisel bewegt/gedreht wird. In diesem Fall treten näm-
lich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator
20 koppeln, der Anregungsschwingung des ersten Resonators Energie entneh-
men und diese auf die Ausleseschwingung des zweiten Resonators übertra-
gen. Die Schwingung des zweiten Resonators wird im Folgenden als "Ausle-
seschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen (insbesondere Drehungen) des
Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und
25 ein entsprechendes Auslesesignal (z. B. das Ausleseschwings-Abgriffssi-
gnal) daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Auslese-
schwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen,
aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als
auch als Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-Sy-
30 stem wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung
fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise null – rückgestellt.

Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines
Corioliskreisels unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines Coriolis-
35 kreisels in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares Mas-

- 2 -

1 sensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird.
Diese Bezeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten "abstrak-
ten" Resonatoren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators darstel-
len. Wie bereits erwähnt, kann der Resonator 2 als System aus zwei "Reso-
5 natoren" (erster Resonator 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst werden.
Sowohl der erste als auch der zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an einen
Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein Abgriffssystem (nicht gezeigt) gekop-
pelt. Das Rauschen, das durch die Kraftgeber und die Abgriffssysteme er-
zeugt wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5) und Noise2 (Bezugszei-
10 chen 6) schematisch angedeutet.

Der Corioliskreis 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

15 Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der
Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz (Resonanzfre-
quenz). Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7, ein erstes
Tiefpassfilter 8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage Controlled
Oscillator") 10 und einen ersten Modulator 11 auf.

20 Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf
eine konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein
zweites Tiefpassfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.

25 Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen
Kräfte, die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis
einen dritten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen Quadratur-
regler 17 und einen zweiten Modulator 18 auf. Der vierte Regelkreis enthält
einen vierten Demodulator 19, ein viertes Tiefpassfilter 20, einen Drehraten-
regler 21 und einen dritten Modulator 22.

30
35 Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz ω_1 angeregt. Die
resultierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten De-
modulators 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil wird
dem ersten Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die Summenfrequenzen
entfernt. Das abgegriffene Signal wird im Folgenden auch als Anregungs-
schwingungs-Abgriffssignal bezeichnet. Ein Ausgangssignal des ersten Tief-
passfilters 8 beaufschlagt einen Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des

1 ihm zugeführten Signals den VCO 10 so regelt, dass die In-Phase-Komponente im Wesentlichen zu Null wird. Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den ersten Modulator 11, der seinerseits einen Kraftgeber so steuert, dass der erste Resonator 3 mit einer Anregungskraft beaufschlagt wird. Ist die In-Phase-Komponente Null, so schwingt der erste Resonator 3 auf seiner Resonanzfrequenz ω_1 . Es sei erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demodulatoren auf Basis dieser Resonanzfrequenz ω_1 betrieben werden.

10 Das Anregungsschwingungs-Abgriffssignal wird des Weiteren dem zweiten Regelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert, dessen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal wiederum dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14 den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer konstanten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine konstante Amplitude auf).

Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des Corioliskreisels 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ angedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten Resonator 4 koppeln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen anregen. Eine resultierende Ausleseschwingung der Frequenz ω_2 wird abgegriffen, sodass ein entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal) sowohl dem dritten als auch dem vierten Regelkreis zugeführt wird. Im dritten Regelkreis wird dieses Signal durch den dritten Demodulator 15 demoduliert, Summenfrequenzen durch das dritte Tiefpassfilter 16 entfernt und das tiefpassgefilterte Signal dem Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangssignal den dritten Modulator 22 so beaufschlagt, dass entsprechende Quadraturanteile der Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu wird im vierten Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal durch den vierten Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20, und ein entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang 24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der entsprechende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

1 Ein Corioliskreisler 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als
auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreisler 1 dop-
pelresonant betrieben, so ist die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung annä-
hernd gleich der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung, wohingegen im
5 nichtdoppelresonanten Fall die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung ver-
schieden von der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung ist. Im Fall der
Doppelresonanz beinhaltet das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20
entsprechende Information über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten
Fall dagegen das Ausgangssignal des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen
10 den unterschiedlichen Betriebsarten doppelresonant/nichtdoppelresonant
umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25 vorgesehen, der die Ausgänge des
dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20 wahlweise mit dem Drehratenregler
21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.

15 Wenn der Corioliskreisler 1 doppelresonant betrieben werden soll, muss – wie
erwähnt – die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anre-
gungsschwingung abgestimmt werden. Dies kann beispielsweise auf mecha-
nischem Wege erfolgen, in dem Material am Massensystem (dem Resonator
2) abgetragen wird. Alternativ hierzu kann die Frequenz der Ausleseschwin-
20 gung auch mittels eines elektrischen Feldes, in dem der Resonator 2
schwingbar gelagert ist, also durch Änderung der elektrischen Feldstärke,
eingestellt werden. Damit ist es möglich, auch während des Betriebs des Co-
rioliskreislers 1 eine elektronische Abstimmung der Frequenz der Auslese-
schwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung durchzuführen.

25 Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu
stellen, mit dem in einem Corioliskreisler die Frequenz der Ausleseschwin-
gung auf die Frequenz der Anregungsschwingung elektronisch abgestimmt
werden kann.

30 Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patent-
anspruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisler gemäß
Patentanspruch 10 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildun-
gen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.

35 Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungs-

1 schwingung in einem Corioliskreisels Resonator des Corioliskreisels mit-
tels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im
Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geän-
5 dert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal
einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Auslese-
schwingung so geregelt wird, dass eine Phasenverschiebung zwischen einem
Störsignal, das die Störkraft erzeugt, und dem im Auslesesignal enthaltenen
Störanteil möglichst klein wird.

10 Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Mas-
sensystem (oder ein Teil davon) des Corioliskreisels verstanden – also der
mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.

Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass die
15 "Durchlaufzeit" einer Störung, also einer künstlichen Änderung der Auslese-
schwingung durch Beaufschlagen des Resonators mit entsprechenden Stör-
kräften, durch den Resonator, d. h. die Zeit, die ab dem Wirken der Störung
am Resonator bis zum Abgriff der Störung als Teil des Auslesesignals ver-
streicht, von der Frequenz der Ausleseschwingung abhängt. Damit ist die
20 Verschiebung zwischen der Phase des Störsignals und der Phase des in dem
Auslesesignal enthaltenen Störanteilsignals ein Maß für die Frequenz der
Ausleseschwingung. Es lässt sich zeigen, dass die Phasenverschiebung ein
Minimum annimmt, wenn die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Fre-
quenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen übereinstimmt. Wenn
25 man daher die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Phasen-
verschiebung ein Minimum annimmt, so ist damit gleichzeitig die Frequenz
der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung im We-
sentlichen abgestimmt.

30 Wesentlich hierbei ist, dass die Störkräfte auf den Resonator lediglich die
Ausleseschwingung, nicht jedoch die Anregungsschwingung ändern. Unter
Bezugnahme auf Fig. 2 bedeutet dies, dass die Störkräfte nur den zweiten
Resonator 4 beaufschlagen, nicht jedoch den ersten Resonator 3.

35 Vorzugsweise wird die Störkraft durch ein Störsignal erzeugt, das entspre-
chenden Kraftgebern zugeführt wird bzw. auf Signale, die den Kraftgebern
zugeführt werden, aufaddiert wird. Beispielsweise kann, um die Störkraft zu

- 1 erzeugen, ein Störsignal auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale zur Regelung/
Kompensation der Ausleseschwingung aufaddiert werden.

- 5 Vorzugsweise ist das Störsignal ein Wechsignale, beispielsweise eine Über-
lagerung von Sinus- bzw. Kosinussignalen. Dieses Störsignal weist in der
Regel eine feste Störfrequenz auf, womit der Störanteil des Ausleseschwin-
gungs-Abgriffsignals durch einen entsprechenden Demodulationsprozess,
der bei besagter Störfrequenz erfolgt, ermittelt werden kann.

- 10 Das oben beschriebene Verfahren kann sowohl auf einen Open-Loop- als
auch auf einen Closed-Loop-Corioliskreisel angewandt werden. Im letzteren
Fall wird das Störsignal vorzugsweise auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale
zur Regelung/Kompensation der Ausleseschwingung, aufaddiert. Beispiels-
weise kann das Störsignal auf das Ausgangssignal des Quadraturregelkrei-
15 ses aufaddiert, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt werden, das an
einem Quadraturregler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem
ausgegeben wird. Ferner ist es möglich, das Störsignal zum Ausgangssignal
des Drehratenregelkreises hinzuzuaddieren, und den Störanteil aus einem
Signal zu ermitteln, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises
20 anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Der Begriff "Auslesesignal" bein-
haltet alle in diesem Absatz beschriebenen Signale, aus denen der Störanteil
ermittelt werden kann. Auch kann damit das Ausleseschwingungs-Abgriffs-
signal gemeint sein.

- 25 Die Frequenzregelung der Ausleseschwingung, d.h. die Kraftübertragung der
zur Frequenzregelung nötigen Regelkräfte erfolgt hierbei durch Regelung der
Stärke eines elektrischen Felds, in dem ein Teil des Resonators schwingt,
wobei eine elektrische Anziehungskraft zwischen dem Resonator und einem
den Resonator umgebenden rahmenfesten Gegenstück vorzugsweise nichtli-
30 near ist.

- Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreisel bereit, der einen Drehra-
tenregelkreis und einen Quadraturregelkreis aufweist und gekennzeichnet
ist durch eine Einrichtung zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der
35 Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung. Die Ein-
richtung zum elektronischen Abstimmen weist hierbei auf:

- eine Störeinheit, die auf den Drehratenregelkreis oder den Quadratur-

- 1 regelkreis ein Störsignal gibt,
- eine Störsignal-Detektiereinheit, die einen Störanteil ermittelt, der in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist und durch das Störsignal erzeugt wurde, und
 - 5 - eine Regeleinheit, die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass eine Phasenverschiebung zwischen dem Störsignal und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.

Vorzugsweise gibt die Störeinheit das Störsignal auf den Drehratenregelkreis, und die Störsignal-Detektiereinheit ermittelt den Störanteil aus einem Signal, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Eine weitere Alternative ist, das Störsignal durch die Störeinheit auf den Quadraturregelkreis zu geben, wobei dann die Störsignal-Detektiereinheit den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an einem Quadraturregler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Erfindung in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

20 **Figur 1** den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basiert;

25 **Figur 2** den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels.

Zunächst wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Dabei sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figur 2 entsprechen, mit den selben Bezugszeichen gekennzeichnet und werden nicht nochmals erläutert.

30 Ein Corioliskreisels 1' ist zusätzlich mit einer Störeinheit 26, einer ersten Demodulationseinheit 27, einem Ausleseschwings-Frequenzregler 28, einer Ausleseschwingsmodulationseinheit 29, einer zweiten Demodulationseinheit 30 und einer Modulationskorrekturereinheit 31 versehen.

35 Die Störeinheit 26 erzeugt ein erstes Störsignal, vorzugsweise ein Wechsel-signal mit einer Frequenz ω_{mod} , das auf das Ausgabesignal eines Drehraten-

1 reglers 21, d.h. am Kraftausgang der Drehratenregelung) aufaddiert wird.
Das somit erhaltene zusammengesetzte Signal wird einem Modulator 18
(zweiter Modulator) zugeführt, dessen entsprechendes Ausgabesignal mittels
eines Kraftgebers (nicht gezeigt) den Resonator 2 beaufschlagt. Das Wechsel-
5 signal wird zusätzlich der ersten Demodulationseinheit 27 zugeführt.

Das Ausleseschwungs-Abgriffsignal wird durch einen vierten Demodulator
19 demoduliert, wobei das Ausgangssignal des vierten Demodulators 19 ein
viertes Tiefpassfilter 20 beaufschlagt, dessen Ausgangssignal einem Drehra-
10 tenregler 21 zugeführt wird. Ein Ausgangssignal des Drehratenreglers 21
wird sowohl dem zweiten Modulator 18 als auch der ersten Demodulations-
einheit 27 zugeführt, die dieses Signal auf Basis der Modulationsfrequenz
 ω_{mod} , die der Frequenz des durch die Störeinheit 26 erzeugten Wechselsi-
gnals entspricht, demoduliert und damit den Störanteil bzw. das Wechselsi-
15 gnal, das die durch die Störeinheit 26 erzeugte Störung repräsentiert, ermit-
telt. Insbesondere wird durch die erste Demodulationseinheit 27 die Phase
des im Auslesesignal enthaltenen Störanteilsignals ermittelt und mit der
Phase des Störsignals, das von der Störeinheit 26 erzeugt wird, verglichen.
Die somit errechnete Phasenverschiebung wird dem Ausleseschwungs-
20 Frequenzregler 28 zugeführt, der die Frequenz der Ausleseschwingung so
einstellt, dass die Phasenverschiebung minimal wird. Um die Phasenver-
schiebung auf ein Minimum zu regeln, wird die elektronisch abstimmbare
Frequenz der Ausleseschwingung mit einem zweiten Störsignal ω_2 -Mod
durch die Ausleseschwungsmodulationseinheit 29 moduliert. Dadurch er-
25 gibt sich eine Variation der Phasenverschiebung entsprechend diesem zwei-
ten Störsignal. Die Phasenverschiebung aus der ersten Demodulationsein-
heit 27 wird nun entsprechend dem zweiten Störsignal ω_2 -Mod demoduliert.
Ist die Phasenverschiebung aus der ersten Demodulationseinheit 27 im We-
sentlichen minimal, so wird das Signal am Eingang des Ausleseschwin-
30 gungs-Frequenzreglers 28 im Wesentlichen Null. Ist die Phasenverschiebung
dagegen nicht minimal, so ergibt sich ein von Null abweichendes Signal am
Eingang des Ausleseschwungs-Frequenzreglers 28 mit entsprechendem
Vorzeichen, so dass der Ausleseschwungs-Frequenzregler 28 die Phasen-
verschiebung mittels der elektronischen Frequenzregelung minimiert. Ist ein
35 derartiges Minimum erreicht, so stimmen die Frequenzen von Anregungs-
schwingung und Ausleseschwingung im Wesentlichen überein.

1 Wie bereits erwähnt, kann alternativ hierzu das durch die Störeinheit 26 er-
zeugte Wechselsignal auch auf ein Ausgangssignal des Quadraturreglers 17
aufaddiert werden. In diesem Fall wäre das der ersten Demodulationseinheit
27 zugeführte Signal am Eingang oder Ausgang des Quadraturreglers 17 ab-
5 zugreifen.

Ferner ist es prinzipiell möglich, das Störsignal an einer beliebigen Stelle in
den Quadraturregelkreis/Drehratenregelkreis einzuspeisen (nicht nur unmittel-
10 bar vor dem zweiten bzw. dritten Modulator 18, 22), d. h. an einer beliebigen
Stelle zwischen dem Abgriff für die Ausleseschwingung und dem zweiten
bzw. dritten Modulator 18, 22.

Es ist vorteilhaft, nach dem Einschalten des Corioliskreisels 1' die Modulations-
15 frequenz ω_{mod} des Wechselsignals auf einen hohen Wert zu setzen, um
eine schnelle Grobregelung der Frequenz der Ausleseschwingung zu erzielen.
Dann kann auf eine relativ niedrige Modulationsfrequenz ω_{mod} umgeschaltet
werden, um eine Resonanz der Ausleseschwingung genau einzustellen. Zu-
dem kann nach einer gewissen Zeit nach Einlaufen des Drehratenreglers 21
bzw. des Quadraturreglers 17 die Amplitude der Modulationsfrequenz ω_{mod}
20 stark reduziert werden.

Grundsätzlich können alle Modulationsprozesse auch auf Basis von bandbe-
grenztem Rauschen erfolgen. D.h., alle vorangehend beschriebenen Wechsel-
25 signale (das erste Störsignal ω_{mod} als auch das zweite Störsignal $\omega_{2\text{-Mod}}$)
können durch entsprechende Rauschsignale ersetzt werden, wobei in diesem
Fall die entsprechenden Demodulationsprozesse auf Basis von Kreuzkorrela-
tion erfolgen, d.h. auf Basis einer Korrelation zwischen den Rauschsignalen
und dem Auslesesignal, das durch die Rauschsignale bewirkte Rauschanteile
(Störanteile) enthält.

30 Bei einem zweiten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungs-
schwingung in einem Corioliskreisels wird der Resonator des Corioliskreisels
mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im
35 Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geän-
dert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal
einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Auslese-

1 schwingung so geregelt wird, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenden Störanteils möglichst klein wird.

5 Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass eine künstliche Änderung der Ausleseschwingung im Drehraten- oder Quadraturkanal um so stärker insbesondere im jeweils dazu orthogonalen Kanal sichtbar ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwings-Abgriffsignal (insbesondere
10 auf den orthogonalen Kanal) ist also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Wenn man also die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwings-Abgriffsignal enthaltenen Störanteils minimal wird, so ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf
15 die Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen abgestimmt.

Wesentlich hierbei ist, dass die Störkräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die Anregungsschwingung ändern. Unter
20 Bezugnahme auf Fig. 2 bedeutet dies, dass die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 beaufschlagen, nicht jedoch den ersten Resonator 3.

Bei einem dritten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisels wird der Resonator des Corioliskreisels mittels
25 einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Störkraft definiert ist als diejenige Kraft, die durch das Signalrauschen im Auslesesignal hervorgerufen wird. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird hierbei so geregelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils, d.h. der Rauschanteil, möglichst klein wird.
30

35 Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels. Wesentlich hierbei ist, dass die Stör-

1 kräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die
Anregungsschwingung ändern. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 würde dies be-
deuten, dass die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 beaufschlagen,
nicht jedoch den ersten Resonator 3.

5 Eine dem dritten alternativen Verfahren zugrunde liegende wesentliche Er-
kenntnis ist, dass ein Störsignal in Form von Signalrauschen, das direkt im
Ausleseschwings-Abgriffssignal bzw. am Eingang der Regelkreise
(Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis) auftritt, nach "Durchgang" durch
10 die Regelkreise und den Resonator umso stärker im Ausleseschwings-
Abgriffssignal beobachtbar ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwin-
gung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Das
Signalrauschen, das das Signalrauschen der Ausleseschwings-Abgriffse-
lektronik bzw. der random walk des Corioliskreisels ist, beaufschlagt nach
15 "Durchlauf" durch die Regelkreise die Kraftgeber und erzeugt somit entspre-
chende Störkräfte, die den Resonator beaufschlagen und damit eine künstli-
che Änderung der Ausleseschwingung hervorrufen. Die "Durchschlagsstär-
ke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwings-Abgriffssignal ist
also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der Ausleseschwingung mit der
20 Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Wenn man also die Fre-
quenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein
Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwings-Ab-
griffssignal enthaltenen Störanteils, d.h. des Rauschanteils, minimal wird, so
ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz
25 der Anregungsschwingung abgestimmt.

Das zuerst beschriebene erfindungsgemäße Verfahren zur elektronischen
Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz kann mit dem zweiten alter-
nativen Verfahren und/oder dem dritten alternativen Verfahren beliebig
30 kombiniert werden. Beispielsweise ist es möglich, bei Inbetriebnahme des
Corioliskreisels das zuerst beschriebene Verfahren anzuwenden (schnelles
Einschwingverhalten), und anschließend das dritte alternative Verfahren
(langsamer Regelprozess) im eingeschwungenen Betrieb anzuwenden. Kon-
krete technische Ausgestaltungen sowie weitere Details zu den Verfahren
35 kann der Fachmann den Patentanmeldungen "Verfahren zur elektronischen
Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels", LTF-
190-DE und LTF-192-DE desselben Anmelders entnehmen, in denen jeweils

- 12 -

1 das zweite alternative Verfahren bzw. das dritte alternative Verfahren be-
schrieben sind. Der gesamte Inhalt der Patentanmeldungen LTF-190-DE/
LTF-192-DE sei hiermit in die Beschreibung mit aufgenommen.

5

10

15

20

25

30

35

1

P a t e n t a n s p r ü c h e

5

1. Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreis (1'), wobei

- der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') durch eine Störkraft so beaufschlagt wird, dass

a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und

10

b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei

- die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass eine Phasenverschiebung zwischen einem die Störkraft erzeugenden Störsignal und dem in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.

15

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft durch ein Störsignal erzeugt wird, das auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale zur Regelung/Kompensation der Ausleseschwingung aufaddiert wird.

20

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal ein Wechsignal ist.

25

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal eine feste Störfrequenz aufweist, und der Störanteil aus dem Auslesesignal durch Demodulieren des Auslesesignals mit der festen Störfrequenz ermittelt wird.

30

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal ein bandbegrenztes Rauschsignal ist.

35

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Demodulation des Störanteils aus dem Auslesesignal durch Korrelation des Störsignals mit dem Auslesesignal erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal auf das Ausgangssignal des Quadraturregelkreises

- 1 aufaddiert wird, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
- 5 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal zum Ausgangssignal des Drehratenregelkreises hinzuaddiert wird, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
- 10 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenzregelung der Ausleseschwingung durch Regelung der Stärke eines elektrischen Felds erfolgt, in dem ein Teil des Resonators (2) des Corioliskreisels (1') schwingt.
- 15 10. Corioliskreisel, der einen Drehratenregelkreis und einen Quadraturregelkreis aufweist, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung, mit:
- 20 – einer Störeinheit (26), die auf den Drehratenregelkreis oder den Quadraturregelkreis ein Störsignal gibt,
- einer Störsignal-Detektiereinheit (27), die einen Störanteil ermittelt, der in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist und durch das Störsignal erzeugt wurde, und
- 25 – einer Regeleinheit (28), die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass eine Phasenverschiebung zwischen dem Störsignal und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.
- 30 11. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störeinheit (26) das Störsignal auf den Drehratenregelkreis gibt, und die Störsignal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an einem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
- 35 12. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störeinheit (26) das Störsignal auf den Quadraturregelkreis gibt, und die Störsignal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal er-

- 15 -

1 mittelt, das an einem Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises an-
liegt oder von diesem ausgegeben wird.

5

10

15

20

25

30

35

1/2

Fig. 1

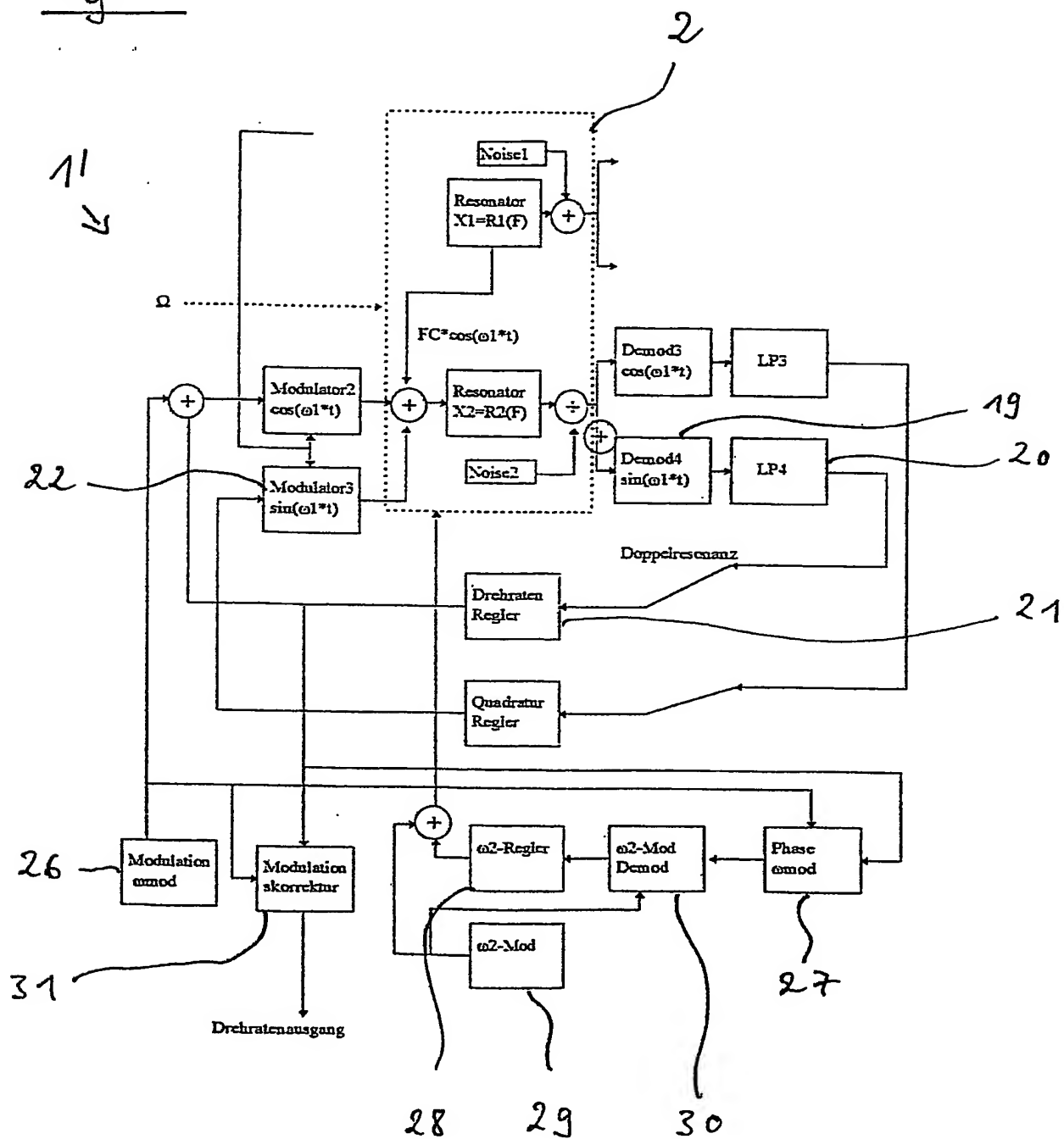
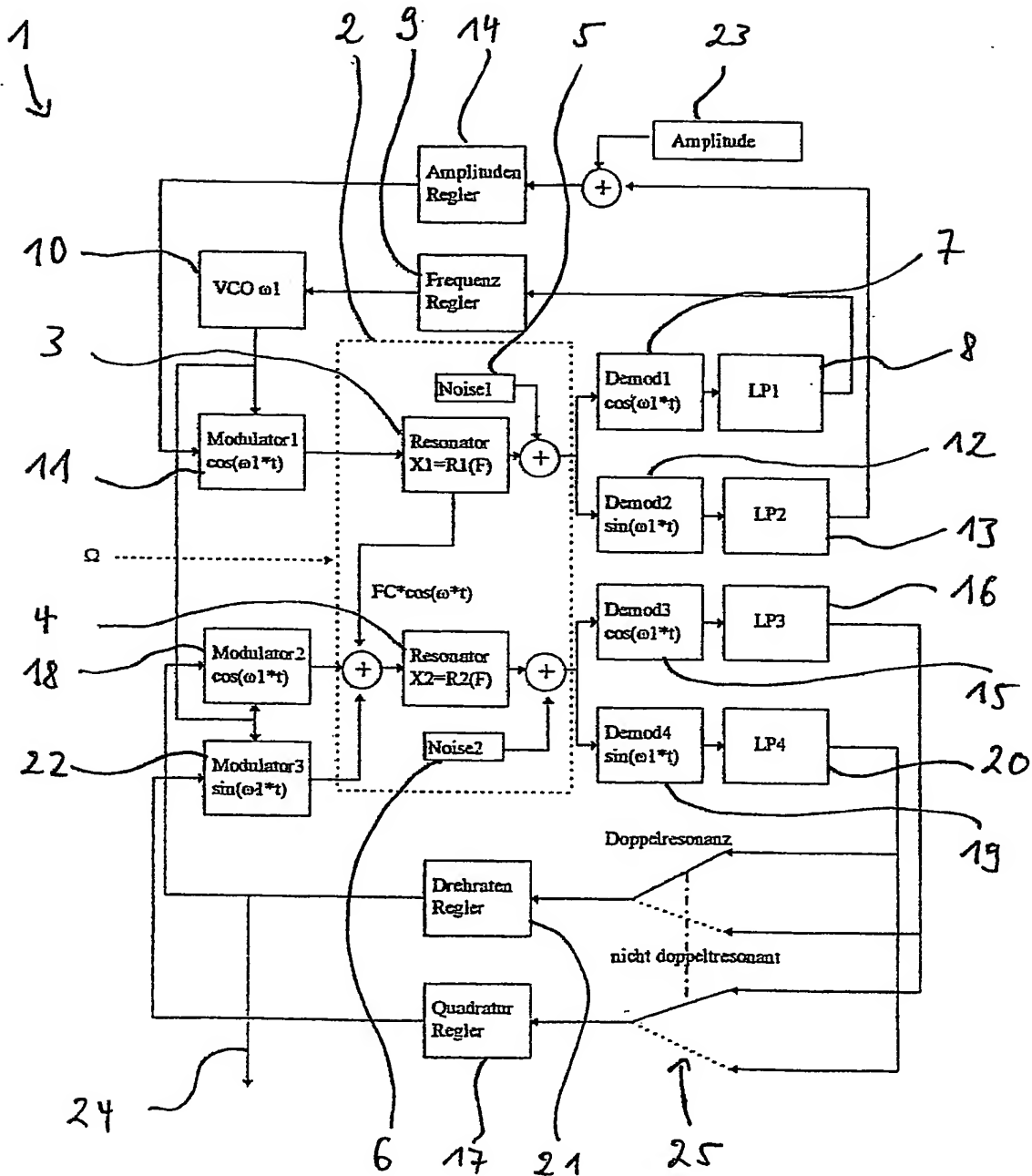


Fig. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/11142

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01C19/56

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01C G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 97/45699 A (UNIV CALIFORNIA) 4 December 1997 (1997-12-04) page 14, line 10 - page 19, line 18 page 24, line 1 - page 31, line 18 page 34, line 3 - line 20; figures 1,2,7A,7B,7C,12	1-16
A	DE 196 41 284 C1 (HAHN SCHICKARD GESELLSCHAFT, INSTITUT FÜR MIKRO- UND INFORMATIONSTECH.) 20 May 1998 (1998-05-20) page 3, paragraph 0027 - page 4, paragraph 0029 page 4, paragraph 0035	1-12
A	WO 99/19734 A (IRVINE SENSORS CORP) 22 April 1999 (1999-04-22) page 4, line 2 - page 5, line 26 page 7, line 25 - page 8, line 4; figure 1	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 February 2004

Date of mailing of the international search report

16/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Springer, O

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/11142

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9745699	A	04-12-1997	US 5992233 A	30-11-1999
			AU 3474497 A	05-01-1998
			EP 0902876 A1	24-03-1999
			JP 2002515976 T	28-05-2002
			WO 9745699 A2	04-12-1997
			US 6296779 B1	02-10-2001
			US 6250156 B1	26-06-2001
			US 6067858 A	30-05-2000
DE 19641284	C1	20-05-1998	DE 59700804 D1	05-01-2000
			WO 9815799 A1	16-04-1998
			EP 0906557 A1	07-04-1999
			JP 2000509812 T	02-08-2000
			JP 3342496 B2	11-11-2002
			US 2002088279 A1	11-07-2002
			US 6349597 B1	26-02-2002
WO 9919734	A	22-04-1999	EP 1023607 A2	02-08-2000
			JP 2001520385 T	30-10-2001
			WO 9919734 A2	22-04-1999
			US 6089089 A	18-07-2000
			US 6578420 B1	17-06-2003

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11142

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01C19/56

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01C G01P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 97/45699 A (UNIV CALIFORNIA) 4. Dezember 1997 (1997-12-04) Seite 14, Zeile 10 - Seite 19, Zeile 18 Seite 24, Zeile 1 - Seite 31, Zeile 18 Seite 34, Zeile 3 - Zeile 20; Abbildungen 1,2,7A,7B,7C,12	1-16
A	DE 196 41 284 C1 (HAHN SCHICKARD GESELLSCHAFT, INSTITUT FÜR MIKRO- UND INFORMATIONSTECH.) 20. Mai 1998 (1998-05-20) Seite 3, Absatz 0027 - Seite 4, Absatz 0029 Seite 4, Absatz 0035	1-12

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Februar 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

16/02/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Springer, 0

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11142

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>WO 99/19734 A (IRVINE SENSORS CORP) 22. April 1999 (1999-04-22) Seite 4, Zeile 2 - Seite 5, Zeile 26 Seite 7, Zeile 25 - Seite 8, Zeile 4; Abbildung 1</p> <p>-----</p>	1-16

INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11142

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9745699	A	04-12-1997	US 5992233 A 30-11-1999
			AU 3474497 A 05-01-1998
			EP 0902876 A1 24-03-1999
			JP 2002515976 T 28-05-2002
			WO 9745699 A2 04-12-1997
			US 6296779 B1 02-10-2001
			US 6250156 B1 26-06-2001
			US 6067858 A 30-05-2000
DE 19641284	C1	20-05-1998	DE 59700804 D1 05-01-2000
			WO 9815799 A1 16-04-1998
			EP 0906557 A1 07-04-1999
			JP 2000509812 T 02-08-2000
			JP 3342496 B2 11-11-2002
			US 2002088279 A1 11-07-2002
			US 6349597 B1 26-02-2002
WO 9919734	A	22-04-1999	EP 1023607 A2 02-08-2000
			JP 2001520385 T 30-10-2001
			WO 9919734 A2 22-04-1999
			US 6089089 A 18-07-2000
			US 6578420 B1 17-06-2003